

## Concreet en formeel denken

Jos Smits, Fontys lerarenopleiding Sittard.

Een vraag die docenten zich regelmatig moeten stellen is "zijn mijn leerlingen wel toe aan de leerstof die ik ze wil aanbieden, zijn ze er al rijp voor?". Als het antwoord op deze vraag "nee" is, dan is het duidelijk dat we er soms beter aan doen om het onderwerp later te behandelen, op een tijdstip dat de meeste leerlingen er wel rijp voor zijn. Een andere mogelijkheid kan zijn om de leerstof op een eenvoudiger niveau aan te bieden of op een andere manier, bijvoorbeeld door ze laten kijken naar bepaalde verschijnselen zonder diepgaande verklaringen erbij te geven. Je leerlingen leren waarnemen is namelijk ook belangrijk binnen het vakgebied van de natuurwetenschappen en kan uitermate boeiend en motiverend zijn voor leerlingen. De aandacht kan ook gericht zijn op het toepassen van verschijnselen. De vraag die aan leerlingen dan wordt voorgelegd is niet "hoe werkt het?" maar "wat kun je er mee doen?". Dan zitten we veel meer op het terrein van de techniek.



Niettemin komt er toch een moment waarop je wel aan de leerlingen wilt overbrengen hoe iets werkt of hoe een en ander verklaart kan worden. En dan dient zich opnieuw de vraag aan of ze er al rijp voor zijn.

Globaal gezegd houdt rijpheid in dat een leerling in staat is om redelijke leerresultaten te behalen bij bepaalde leerstof met een redelijke hoeveelheid inspanning.

Daarvoor moet aan twee voorwaarden zijn voldaan:

1. De leerling moeten beschikken over de juiste beginsituatie, d.w.z. de juiste voorkennis en ervaring.
2. De leerling moet het juiste ontwikkelingsstadium hebben bereikt.

We willen het hier verder hebben over de tweede voorwaarde. Het is duidelijk dat het absurd zou zijn om de relativiteitstheorie van Einstein of differentiaal- en integraalrekening aan te bieden op de basisschool. Op een dergelijke leeftijd zijn de hersenen van een mens nog onvoldoende ontwikkeld om überhaupt met dit soort dingen bezig te kunnen zijn. Een belangrijke component van lichamelijke ontwikkeling is natuurlijk ook de ontwikkeling van de hersenen en gekoppeld daaraan de ontwikkeling van het denken.

Piaget was een Zwitserse ontwikkelingspsycholoog die beschouwd wordt als de grondlegger van de theorie van de cognitieve ontwikkeling van de mens. Piaget hanteerde bij zijn onderzoek verschillende methoden: bij jonge kinderen verrichtte hij observaties van spontane activiteiten en van reacties op handelingen. Bij oudere kinderen hanteerde hij de "la methode clinique": hierbij worden door de onderzoeker steeds vragen gesteld aan het kind waarbij deze zich richt naar eerder door het kind gegeven antwoorden. Later ontwikkelde hij "la methode critique" waarbij het gesprek werd aangevuld met het manipuleren van materiaal waarover vragen worden gesteld.

### 1 De algemene beschouwingen van Piaget.

Het ontstaan van menselijke intelligentie wordt door Piaget verklaard door middel van een interactie - theorie: de wisselwerking tussen de omgeving en een individu leidt tot aanpassing van het individu aan de omgeving. Dit verschijnsel wordt door Piaget *adaptatie* genoemd.

Adaptatie heeft twee aspecten:

1. Nieuwe ervaringen worden "gefilterd" door de hersenen en ingepast in de bestaande kennis- en denkstructuur. Dit proces heet assimilatie (assimileren = opnemen).
2. Nieuwe ervaringen kunnen echter ook de aanwezige kennis- en denkstructuur wijzigen. Dit proces wordt door Piaget accommodatie genoemd (accommoderen = scherpstellen (door de ooglen)).

Volgens Piaget is adaptatie mogelijk door twee natuurlijk verlopende processen:

- het streven naar het bereiken van evenwicht (equilibratie, tegenwoordig zelfregulatie genoemd) en
- het organiseren van de kennis- en denkstructuur door het aanbrengen van onderlinge verbanden en het samenvoegen tot grotere gehelen.

Assimilatie en accommodatie leiden dus, als alles goed gaat, tot een toestand van een nieuw tijdelijk evenwicht.

Het is gunstig voor het onderwijsleerproces om deze evenwichtssituatie op een positieve wijze te doorbreken. Als het kind zich bewust kan worden gemaakt van ongerijmdheden in zijn eigen denken, dan is dat bevorderlijk voor het adaptatieproces.

## Het cognitieve conflict

De verstoring van de evenwichtssituatie wordt wel het veroorzaken van een *cognitief conflict* genoemd. Voorbeelden van cognitieve conflicten die samenhangen met *misconceptionen* of *preconceptionen* van veel mensen over bepaalde natuurverschijnselen:

Vragensteller: waarom zijn de astronauten die zich in een ruimteschip bevinden eigenlijk gewichtloos?

Ondervraagde: zo'n ruimteschip is zo ver van de aarde dat daar de aantrekkingskracht van de aarde zeer klein is geworden.

Vragensteller: waarom blijft het ruimteschip eigenlijk om de aarde draaien?

Ondervraagde: ?????

Toelichting: als het goed is zal de ondervraagde nu beseffen dat hij een verkeerd antwoord heeft gegeven. Het antwoord op de tweede vraag is immers dat het ruimteschip in zijn baan wordt gehouden door de gravitatiekracht van de aarde, maar dat is in tegenspraak met de eerder gegeven verklaring omtrent de gewichtloosheid van de astronauten.

Nog een voorbeeld:

Vragensteller: waarom is de gemiddelde temperatuur in de winter veel lager dan in de zomer?"

Ondervraagde: "dat komt omdat in de winter de afstand tussen de aarde en de zon veel groter is dan in de zomer".

Vragensteller: "hoe komt het dat als het bij ons op het noordelijk halfrond winter is, het op het zuidelijk halfrond zomer is?"

Ondervraagde: ?????

Toelichting: de ondervraagde zit opnieuw met een cognitief conflict: zijn eerder gegeven verklaring correspondeert niet met het gegeven de seizoenen winter en zomer zich gelijktijdig op aarde voordoen. Als de afstand aarde -zon maatgevend zou zijn dan zou het immers op de gehele aarde tegelijkertijd zomer of winter zijn.

Via een proces van adaptatie moet nu worden ingebouwd dat het verschijnsel van de seizoenen samenhangt met de hoek die de aardas maakt met het baanvlak van de aarde om de zon .

Deze twee voorbeelden laten zien dat de ontwikkeling van het denken eigenlijk te beschouwen is als een proces dat een leven lang duurt. Zeer veel volwassenen zullen antwoorden geven die verlopen zoals hierboven is aangegeven. Straks zullen we veel eenvoudiger cognitieve conflicten tegenkomen die op veel jongere leeftijd spelen. De bijbehorende experimenten werden door Piaget bedacht om vast te stellen in welk ontwikkelingsstadium een bepaald kind zich bevindt.

De methode van het cognitieve conflict zijn overigens veel ouder dan de theorie van Piaget. Reeds de wijsgeer Socrates bediende zich van de dialoog om ongerijmdheden in het denkproces aan het licht te brengen. Dit type dialoog is dan ook naar hem vernoemd: de *Socratische dialoog*.

## Hardware en software voor het denken

In moderne bewoordingen zouden we de natuurlijk verlopende processen van equilibratie en organisatie de software van het menselijk brein kunnen noemen. Daarnaast beschikt het brein volgens Piaget ook over hardware: schema's en structuren. Met schema bedoelde hij een reeds aanwezig patroon van motorische handelingen (b.v. reflexen als zuigreflex en grijpreflex bij baby's) of denkhandelingen. Met structuur bedoelde hij de fysische structuur die in de hersenen aanwezig is. Hersenen zijn opgebouwd uit vele miljarden zenuwcellen of neuronen. Aanvankelijk is die structuur nog niet goed ontwikkeld. Tijdens de eerste levensjaren van een individu vertakken de neuronen zich tot een zeer complex netwerk met ontelbare knooppunten.

De schema's zijn niet statisch maar actief: de aangeboren schema's worden steeds verder uitgebreid en verfijnd. Dit proces verloopt via interactie met de omgeving en dus spelen assimilatie en accommodatie een belangrijke rol. Zo zal bij een zuigeling de grijpreflex wel aanwezig zijn maar aanvankelijk pakt het kind naast het aangeboden knuffelbeestje: de oog -hand coördinatie is nog niet ontwikkeld.

Op het moment dat de schema's zich zo ver hebben ontwikkeld dat ze als onderling samenhangende, logisch mathematische systemen kunnen worden gebruikt is er sprake van *operationele schema's*.

## Operationele schema's

Operationele schema's maken het uitvoeren van operaties mogelijk: complexe en gedifferentieerde denkhandelingen op grond van een onderliggend logisch model. Het kunnen uitvoeren van bepaalde taken of operaties hangt direct samen met het ontwikkelingsstadium van de operationele schema's.

### Voorbeelden van operationele schema's:

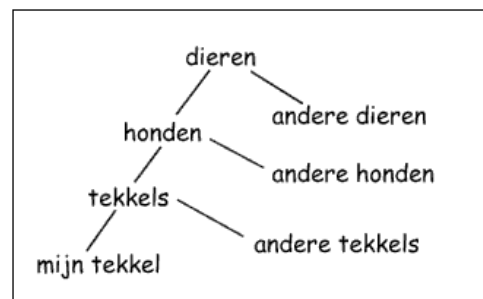
Eenvoudige schema's:

- het kind kan tel - operaties uitvoeren m.b.t. verzamelingen van objecten ,
- het kind kan dingen sorteren op kleur, grootte, gewicht, etc.

Schema's voor concreet operationeel denken: het kind is in staat om dingen of objecten in te delen en kan daarbij classificeringsschema's gebruiken. Bijvoorbeeld:

Het kind kan overweg met vragen als "zijn er meer honden of tekkels?"; "Zijn er nog honden buiten als alle tekkels naar binnen zijn gegaan?", etc.

Het kind kan dus denkhandelingen uitvoeren die gebaseerd zijn op inclusie -relaties ( dat is het redeneren met dingen die onderdeel zijn van een groter geheel).



Op latere leeftijd verwerft het kind ook operationele structuren voor formele operaties. Het gaat nu het kunnen omgaan met relaties waarbij niet direct waarneembare begrippen betrokken zijn. Voorbeelden hiervan zijn de begrippen druk, soortelijke massa, snelheid, versnelling, etc. Deze begrippen zijn alle terug te voeren op een relatie tussen wel direct waarneembare basisbegrippen. Ook voor het kunnen omgaan met probleemstellingen waarbij tegelijkertijd meerdere variabelen optreden zijn formele operationele structuren nodig. Een ander voorbeeld is het omgaan met evenredigheden.

## Ontwikkeling van de menselijke intelligentie

Volgens Piaget wordt de ontwikkeling van de menselijke intelligentie mogelijk gemaakt door vier factoren:

1. Rijping van het centrale zenuwstelsel. De neurologische ontwikkeling is bij de geboorte nog niet voltooid.
2. Ervaringen. Vooral bij het omgaan met voorwerpen en materialen, maar ook bij het denken en praten daarover.

3. Sociale interactie. Het kennismaken van de ideeën van anderen, waardoor bestaande evenwichtstoestanden verstoord kunnen worden omdat tegenstrijdigheden in het eigen denken aan het licht komen.
4. Equilibratie. De interne reorganisatie van bestaande mentale structuren na verstoringen van het evenwicht.

Volgens Piaget is de laatste factor het belangrijkste.

## 2 Fasen in de cognitieve ontwikkeling

Piaget onderscheidt in de intellectuele ontwikkeling van de mens een aantal fasen.

Hij onderscheidt de volgende hoofdfasen:

1. senso -motorische fase
2. pre -operationele fase
3. concreet -operationele fase
4. formeel -operationele fase

Binnen elke hoofdfase onderscheidde hij weer een aantal subfasen. We zullen die niet apart noemen, maar vaststellen dat het in ieder geval gaat het om een geleidelijk ontwikkelingsproces dat niet sprongsgewijs van de ene naar de andere fase verloopt. Het gaat veeleer om een geleidelijke ontwikkeling in de kwaliteit van het denken waarbij langzaam het zwaartepunt verschuift van de ene fase naar de andere. Elke hoofdfase is dus eigenlijk een stereotiep met bepaalde karakteristieken. Het is best mogelijk dat een kind op een bepaald terrein formeel -operationeel kan denken terwijl het op een ander gebied nog in de concreet -operationele fase verkeert.

Piaget zelf koppelde tamelijk strakke leeftijdsgrenzen aan de verschillende fasen.

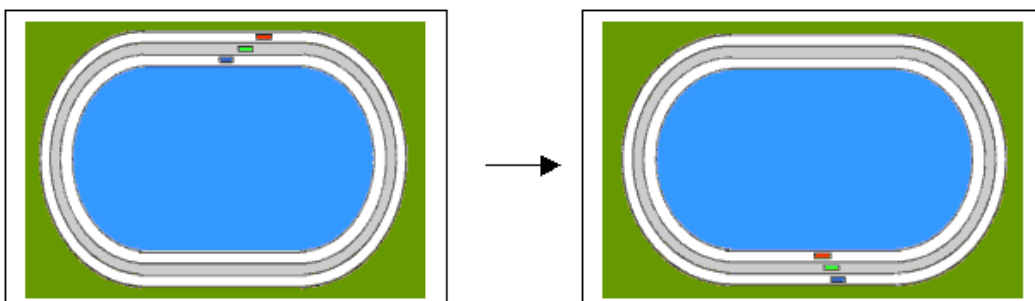
Uit later onderzoek is echter gebleken dat er geweldig grote verschillen van individu tot individu kunnen optreden: het ene kind leert veel vroeger formeel denken dan het andere. Ook is vastgesteld dat sommige volwassenen nooit tot het volledige formeel -operationele stadium komen. En nog veel meer volwassenen kunnen op het terrein waarin zij goed geschoold zijn wel formeel denken, maar hebben daarmee veel meer moeite, of verkeren in de concreet -operationele fase, op een voor hen onbekend terrein.

### 2.1 de pre- operationele fase

We bespreken enkele typische kenmerken van de pre- operationele fase.

Egocentriciteit: dingen alleen vanuit het eigen standpunt kunnen zien.

Piaget ontwierp een spelletje waarbij drie auto's op vaste banen rond een meer rijden. De auto's verschillen van kleur.



De auto's worden bij A onder elkaar geplaatst. Nu wordt aan het kind gevraagd om de auto's in de juiste kleurvolgorde bij B neer te zetten als ze het halve meer hebben rondgereden, elk op hun eigen baan.

Vijf tot zesjarigen blijken dan gewoon dezelfde kleurvolgorde aan te houden dat ze vanuit hun eigen standpunt bij A waarnemen. Dat betekent dat als eerst de rode auto het dichtst bij de oever reed, deze door het kind nu het verst verwijderd van de oever wordt geplaatst (zie de figuur hierboven). Uit

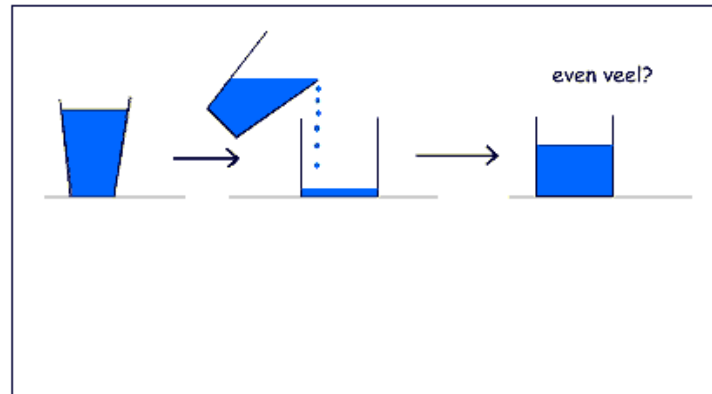
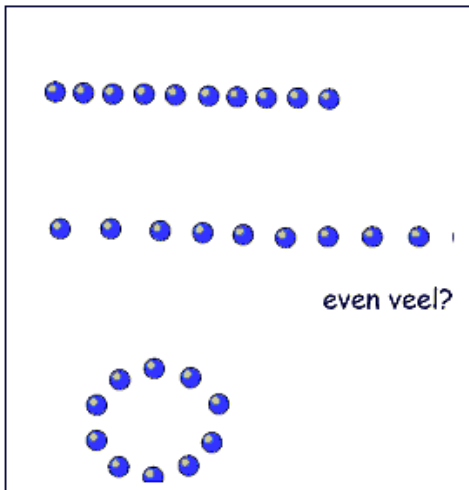
dit proefje blijkt dat het kind nog gebonden is aan zijn eigen ruimtelijke standpunt, het kan nog niet in gedachten een ander standpunt innemen.

#### Inclusierelaties

Het kind kan nog niet overweg met groepen en subgroepen, verzamelingen en deelverzamelingen. Het kind kan nog niet inzien dat je tegelijkertijd in Sittard en in Nederland bent. Het kan bijvoorbeeld wel vertellen dat het 2 broertjes en 2 zusjes, maar weet geen antwoord op de vraag hoeveel broers en zusjes zijn zusje heeft.

#### Behoudsprincipes

De behoudsprincipes worden nog niet beheerst. Als bijvoorbeeld van twee even lange rijen van 10 knopen een rij verder uiteen wordt gelegd of in een cirkel, dan noemt het kind beide aantallen niet meer even groot.



Kinderen in het pre-operationele stadium zijn nog volledig gebonden aan de directe waarneming. Het kan wel op twee of meer voorwerpen letten, maar niet op meerdere eigenschappen van die voorwerpen tegelijkertijd. Het kind kan de via de zintuigen binnenkomende informatie nog niet voldoende ordenen en organiseren.

Kenmerken van het concreet-operationele denken.

Kort gezegd zal het kind dat de fase van het concreet-operationele denkstadium heeft bereikt geen moeite meer hebben met de hierboven beschreven tests. Uit onderzoek is vastgesteld dat niet alle behoudsprincipes tegelijk worden verworven.

Behoud van aantal en hoeveelheid stof en oppervlakte beheersen de meeste kinderen rond het 6<sup>e</sup> a 7<sup>e</sup> levensjaar. Het volledige begrip van het behoud van volume volgt pas op het 9<sup>e</sup> a 10<sup>e</sup> levensjaar. Hoewel het kind van 6 of 7 jaar begrijpt dat bij het overschenken van limonade van het ene naar het andere glas de hoeveelheid niet verandert, is volgens Piaget het kind nog niet toe aan het besef dat het volume niet is veranderd.

## 2.2 Het concreet-operationele stadium

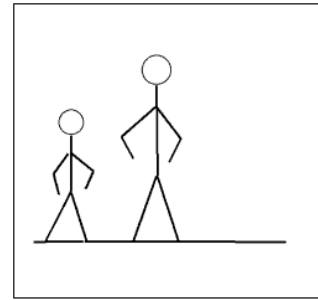
Kenmerkend voor het volledig bereiken van het concreet-operationele stadium is het inzien van de *omkeerbaarheid van de transformaties*. Omdat de knopen weer teruggelegd kunnen worden, omdat de limonade weer teruggeschonken kan worden, etc. ontstaat de logische overtuiging dat er sprake is van behoud van aantal, hoeveelheid stof, etc.

Het volledige begrip van het behoud van volume wordt door Piaget tot het formeel-operationele stadium gerekend.

Een concreet denkend kind kan nog niet generaliseren: een bepaalde argumentatie wordt niet zonder meer overgedragen op overeenkomstige problemen. De redenering is dus nog gebonden aan een bepaalde concrete situatie.

Het denken in verhoudingen, proportioneel denken genoemd, is voor een zuiver concreet denkend kind nog onmogelijk. Het duurt vaak tot ver in de formele fase dat een kind overweg kan met de volgende typen problemen:

Mr. Short en Mr. Tall



We meten de lengte van Mr. Short en Mr. Tall met paperclips. Eerst gebruik ik grote paperclips. Mr. Short is 6 grote paperclips lang en Mr. Tall is 8 grote paperclips lang. (kind kan dit eerst nameten)

Nu neem ik kleine paperclips. Mr. Short is 8 kleine paperclips lang. (kind meet ook dit na).

Vraag: hoeveel kleine paperclips is Mr. Tall lang?

Concreet opererende kinderen zullen doorgaans "10" als antwoord geven. Ze werken met verschillen in plaats van met verhoudingen.

Het is dus niet verwonderlijk dat de begrippen druk, soortelijke massa, snelheid, versnelling, etc. erg moeilijk voor concreet denkende kinderen zijn. dat blijkt uit de formele definities van deze begrippen: druk is kracht per oppervlakte-eenheid, soortelijke massa is massa per eenheid van volume, etc.

Het woordje "per" geeft aan dat er sprake is van verhoudingen tussen grootheden. Letterlijk per definitie behoren dit soort begrippen dus tot het formele domein. Zoals eerder opgemerkt wordt het volledige begrip van de grootheid volume al tot het formele stadium gerekend. Het begrip soortelijke massa zal zich dus nog hoger in de begrippen -hiërarchie bevinden.

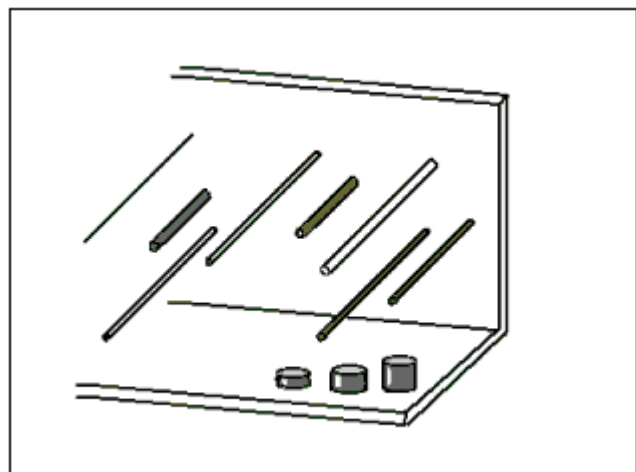
### 2.3 Kenmerken van het formele denken.

Het belangrijkste van deze fase is het vermogen om te kunnen redeneren vanuit hypothesen. Vaar een concreet denkend kind is hypothese hetzelfde als werkelijkheid. Een formele denker is in staat om hypothese te zien als mogelijkheid. De formele denker is dus ook in staat om meerdere hypothesen op te stellen en tegen elkaar af te wegen.

Een formele denker kan ook overweg met situaties waarbij meerdere variabelen tegelijkertijd een rol spelen. In zo'n geval begrijpt de formele denker dat het nodig is om systematisch onderzoek te doen: alle parameters worden constant gehouden op een na. Om beurten worden zo alle parameters afgewerkt om tot volledig begrip van het systeemgedrag te komen.

Doorbuiging van een staaf.

De figuur hiernaast geeft het apparaat weer waarmee onderzocht wordt of de proefpersoon de variabelen kan vaststellen die van invloed zijn op het doorbuigen van een staaf. De staven zijn van verschillende lengte, dikte, doorsnede en materiaal. Bovendien worden er drie schijven van verschillend gewicht gegeven die over deze staven verschoven kunnen worden. De afstand van het inklempunt van de staaf tot het belastende gewicht is dus ook variabel.



Het apparaat wordt zonder verdere toelichting aangeboden aan de proefpersoon. De opdracht voor de proefpersoon luidt: onderzoek welke dingen van invloed zijn op het doorbuigen van een staaf. Als de proefpersoon enkele variabelen gevonden heeft vraagt de onderzoeker om een bewijs van de invloed van deze variabele.

Bijvoorbeeld: "hoe kun je me laten zien dat de doorsnede van de staaf belangrijk is?"

Het gaat er in dit concrete geval dus om dat de proefpersoon in staat is om de juiste keuze uit de staven te maken om dat aan te tonen. Er moeten dus staven worden geselecteerd van hetzelfde materiaal. De lengte van de staven mag verschillend zijn maar de proefpersoon moet een zelfde gewicht op dezelfde afstand van het inklempunt plaatsen en daarbij letten op de doorbuiging ter plaatse van de belastende kracht.

Binnen de hoofdfase van het formeel operationele denken worden door Piaget en zijn medewerkster Inhelder twee subfasen onderscheiden.

### 2.3.1 De eerste formele fase

De eerste formele fase heeft de volgende kenmerken:

- het individu ziet de noodzaak van het opstellen van hypothesen
- het individu is in staat om hypothesen op te stellen omtrent een verschijnsel dat gedemonstreerd wordt
- het kunnen opstellen van hypothesen is nog beperkt tot relaties tussen twee variabelen
- het individu is in staat om oorzakelijke verbanden af te leiden, zoals bijvoorbeeld de invloed van de materiaal soort op de hierboven gepresenteerde test in concrete situaties kan met verhoudingen worden gewerkt

### 2.3.2 De tweede formele fase:

De proefpersoon realiseert zich dat in een systeem met verschillende variabelen er op systematische wijze onderzoek moet worden gedaan: de waarde van een parameter varieert terwijl de rest constant wordt gehouden. De proefpersoon kan algemene of abstracte relaties formuleren het individu kan werken met rechte evenredigheden en met omgekeerde evenredigheden zowel bij het waarnemen als bij het formuleren van relaties het individu kan zoeken naar een verklarend model of een gegeven model uitbreiden en /of verfijnen. Bij het volledig bereiken van het formele denkstadium wordt het mogelijk voor het individu om te reflecteren op het eigen denken. Het betreft hier dus de mogelijkheid om te kunnen "denken over het eigen denken". Dat kan alleen als het individu in staat is om afstand te nemen van het eigen denken en daardoor weet te relativiseren. Uit een groot aantal onderzoeken is gebleken dat vaak slechts 30 tot 50 procent van een groot aantal volwassen proefpersonen een bepaald probleem door middel van formeel denken oplost. Daarbij is reeds aangegeven dat bekendheid met het terrein daarbij een belangrijke rol speelt.

## 3 Consequenties voor het onderwijs.

Natuurlijk heeft het onderzoek naar de intellectuele ontwikkeling van de mens zijn invloed op de inrichting van de onderwijsleersituatie. We noemen enkele belangrijke factoren waarmee docenten rekening moeten houden:

- Nieuwe begrippen en relaties tussen begrippen moeten worden aangeboden op het denk- en taalniveau waarop het kind zich bevindt. Daarom is het belangrijk om per kind zijn /haar beginsituatie te peilen. Overigens is dat in de praktijk erg lastig: bij het werken met grote groepen ziet de docent zich al snel genooddaakt om de beginsituatie van de hele klas te bepalen. Toch is het mogelijk om zelfs bij grotere groepen de kinderen individueler te benaderen. Dan moeten wel andere werkvormen dan de klassikaal frontale werkvorm worden gebruikt.
- "Leren door zelf doen" als belangrijk didactisch principe. Leerlingen moeten zelf actief bezig kunnen zijn om kennis en vaardigheden te kunnen verwerven.
- Het werken in de klas moet - zoveel mogelijk - maatwerk zijn voor individuele leerlingen (zie ook 1.) Er moeten in redelijke mate nieuwe situaties worden aangeboden. Daarbij moet "ontdekkend leren" worden gestimuleerd.
- Kinderen kunnen leren door sociale interactie. Het is dus belangrijk om kinderen in groepswork, onderwijsleergesprekken en klassengesprekken te laten praten over de leerstof.
- De kinderen moeten leren om verantwoordelijkheid te nemen voor hun onderwijsleerproces: taakzelfstandigheid.

*Jos Smits, Fontys lerarenopleiding Sittard.*